

## Bachelor Arbeit

# Verbesserung des Velonetz in Uster in angesicht der unsicheren zukünftigen Nachfragebeziehungen

Autor: Cyrano Golliez ETH-Nr. 15-914-609

Supervisors: Prof. Dr. Bryan T. Adey  
Dr. Claudio Martani

Date: 29.05.2020





Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Declaration of originality

The signed declaration of originality is a component of every semester paper, Bachelor's thesis, Master's thesis and any other degree paper undertaken during the course of studies, including the respective electronic versions.

Lecturers may also require a declaration of originality for other written papers compiled for their courses.

I hereby confirm that I am the sole author of the written work here enclosed and that I have compiled it in my own words. Parts excepted are corrections of form and content by the supervisor.

**Title of work** (in block letters):

**Authored by** (in block letters):

*For papers written by groups the names of all authors are required.*

**Name(s):**

**First name(s):**


With my signature I confirm that

- I have committed none of the forms of plagiarism described in the '[Citation etiquette](#)' information sheet.
- I have documented all methods, data and processes truthfully.
- I have not manipulated any data.
- I have mentioned all persons who were significant facilitators of the work.

I am aware that the work may be screened electronically for plagiarism.

**Place, date**

**Signature(s)**


*For papers written by groups the names of all authors are required. Their signatures collectively guarantee the entire content of the written paper.*



# Acknowledgment

Acknowledgments are the author's statement of gratitude to and recognition of the people and institutions that helped the author's research and writing.

For example, the supervisor, other academic and/or technical staff at the university, experts in other institutions who may have provided advice or access to information, funding bodies, colleges, friends and family.



# Abstract

look at

The abstract is a concise and accurate summary of the research described in the document. It states the problem, the methods of investigation, and the general conclusions, and should not contain tables, graphs, complex equations, or illustrations. There is a single abstract for the entire work, and it must not exceed 350 words in length.

The abstract should be given in both English and German language, independent of the language in which the thesis itself is written.

This is some real bullshit man.





# Zusammenfassung

Hier wird die gesamte Arbeit kurz zusammengefasst.

This is some real bullshit man.



# Hilfestellung

## Some formal aspects

Strong demands can only be met with the help of a very stringent and clear structure laid out at the beginning of the writing process. One of the most clear structuring is given by a rigorous "legal numbering" (1, 1.1, 1.1.1 etc.). It is good to know that  $\text{\LaTeX}$  does all this formatting business without any need to renumber things yourself at each iteration and so on. Thus we strongly recommend using  $\text{\LaTeX}$  for the project. Anything else (e.g. Word) is a mess when writing an elaborate scientific text with many graphics and formulas.

Even a particular elusive reader should be able to quickly glean the most important thoughts, experiments and results from just looking at illustrative schematics, diagrams, and pictures with self explaining, extensive figure captions.

There are always parts/chapters/sections of text which are complex and important for a full description and documentation of the work, but not absolutely necessary for following the main lines of thought. It is very helpful for the somewhat more interested, but temporally limited reader if such passages of text are correspondingly marked, e.g. by a brief introductory remark to such sections, or even by moving them into appendices.

Definitively each chapter and ideally also each section should begin with a short guide: what is communicated in the following text, which sources (quote clearly) have been used, what are the basic concepts used and which goals are to be reached. Similarly, at the end of larger elaborations a short synopsis of the communicated content should be offered.

## Plain text

A single font must be used throughout the thesis or report, the only exceptions being in tables, graphs, and appendices. Headings may be bolded and no more than 2 points larger than the rest of the text.

The page format should be single column with one and a single spacing used between the lines. Spacing of words on a line should be such that the line can be easily read. Crowding words together or leaving excessive spaces is not permitted.

## Footnotes

For those who are using footnotes<sup>1</sup>, Arabic numerals are used consecutively throughout a chapter, and should normally appear at the bottom of the relevant page, keyed to the same number following the word or phrase in the text to which it refers. If a footnote is too long for the relevant page, it may be continued on the following page preceding the footnotes for that page. If the number of footnotes is very large, numbers may be restarted with each chapter.

## Lists

There are three types of lists with the environment names *itemize*, *enumerate* and *description*. All lists have a separation between each item, to improve the reading of item texts spanning several lines. This item text can contain multiple paragraphs. These paragraphs are appropriately spaced and indented according to their position in the list.

- The *itemize* sets off list items with *bullets*, like this.
- Of course, lists can be nested, each type up to at least four levels. One type of list can be nested within another type.
  - Nested lists of the same type will change style of numbering or *bullets* as needed.

1. The *enumerate* environment numbers the list elements.

This is a new paragraph in the item text, which is not intended as in the normal text but separated from the previous paragraph.

2. The enumeration scheme changes with each nesting level
  - a) as shown in this nested enumerated list item.

**Some description** The *description* environment allows to describe some content.

## Mathematical symbols and equations

Each formula, except for generally accepted and well-known formulas, either has to be mathematically derived, to be explained, or a literature source has to be provided. This applies especially to complex models, where each constraint should be described and explained.

There are three types of mathematical equations: (a) in-line equations, (b) displayed but unnumbered equations, and (c) displayed and numbered equations.

---

1. Some example footnote.

## In-line equations

An in-line equation is used for particularly simple relationships which (i) do not need vertical space for integrals, fractions, etc., (ii) can be expressed without breaking the flow of the sentence, and (iii) will not be referenced again in the document.

For example:

If volume  $V$  and temperature  $T$  are known, the ideal gas law can be used to get a reasonable approximation for the pressure of a gas as  $P = nRT/V$ , where  $n$  is the number of moles of gas and  $R$  is the gas constant.

Unless all the variables have been defined earlier in the document, the physical significance of all the quantities appearing in an equation must be stated at the point of their first appearance in the document.

## Displayed, but unnumbered, equations

Equations that are too complex to be written as in-line equations should be "displayed", which usually means, that the equation is centered between the left and right margins or aligned at a tab stop with some indent from the left margin and some vertical space is provided above and below the equation to set it apart from the text.

For example:

The van der Waals equation is used to provide a more accurate expression for the pressure  $P$  as a function of the molar volume  $V_m$  and the temperature  $T$  as

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} ,$$

where  $a$  and  $b$  are van der Waals parameters for the gas.

or

The electric field  $\mathbf{E}$  at the origin due to a point charge  $q$  at a distance  $r$  is given by

$$\mathbf{E} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

where  $\hat{\mathbf{r}}$  is the position vector of the point charge.

Note that in the examples presented above, the displayed equation is part of the text, i.e., it is punctuated, and incorporated in to the structure of the sentence.

All the scalar variables are italicized whereas the vector quantities in the second example are Roman boldfaced.

## Displayed and numbered equations

One often has to refer back to the important equations. The standard way to do this is by referring to the equation number. Of course, in order to refer to an equation number, one must first number the equations. A consistent system of numbering equations must be adopted. Various options are:

- Number equations as (1), (2), etc., starting in Chapter 1 (or at the first numbered equation) and continuing until the end of the last numbered equation in the document.
- Incorporate the chapter number into the equation, as in (1.1), (2.3), (4.6), etc., which means the equation numbering goes back to 1 at the beginning of each chapter.
- Use Roman numerals for chapter numbers, as in (I.1), (II.3), (IV.6) etc.

For example:

The non-relativistic Schrödinger equation for a particle of mass  $m$  subject to a potential energy function  $V(x)$  in a one-dimensional universe is

$$E\psi(x) = \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi(x) \quad (0.1)$$

where  $\hbar = h/(2\pi)$ ,  $h$  is Planck's constant, and  $E$  is the total energy of the system.

The equation in the example is approximately centered on the page, and the equation number is aligned by a right-tab at the right margin.

To cite an equation in text, use an abbreviation if it is not the first word of the sentence. Suitable singular and plural abbreviations include eq. and eqs., Eq. and Eqs. Spell out "Equation" when it is the first word of a sentence and when it is not accompanied by a number.

The used numbering of the equation may change according to the context of the work. E.g. number them as subequations

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad (0.2a)$$

$$\dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \quad (0.2b)$$

or with only a single number

$$\begin{aligned} \dot{q}_i &= \frac{\partial H}{\partial p_i} \\ \dot{p}_i &= -\frac{\partial H}{\partial q_i} \end{aligned} \quad (0.3)$$

Many further possibilities of displaying equations exist.

## Tables

Tables should only be used to present three (3) or more items; otherwise, the data should be described in the narrative. Tables should be arranged so like material appears in columns, not rows. Information presented in tables should be sufficiently understandable so frequent reference to the narrative is unnecessary. Each table should have a title, generally appearing above the table itself. The table title and other items may be footnoted, although extensive explanations appearing in footnotes should be avoided. All abbreviations and symbols should be defined.

Tables are generally no more than what can be printed on one page, but occasionally multi-paged tables are necessary and are acceptable. Tables may appear on pages which contain narrative text or tables may appear singularly on a page (i.e. one table per page and only the table on the page).

Tabelle 0.1: Comparison of the mean-field predictions for the critical temperature of the Ising model with exact results and the best known estimates for different spatial dimensions  $d$  and lattice symmetries.

<b>lattice</b>	$d$	$q$	$T_{\text{mf}}/T_c$
square	2	4	1.763
triangular	2	6	1.648
diamond	3	4	1.479
simple cubic	3	6	1.330
bcc	3	8	1.260
fcc	3	12	1.225

## Figures

Figures present charts, graphs, or images to the reader. Figure legends should be sufficiently detailed to allow the reader to understand without frequent reference to the narrative. However, overly detailed descriptions should be avoided. All abbreviations and symbols should be defined. Figure legends should appear on the same page and in the same orientation as the figure. For example, if the figure appears in landscape mode then the legend should also appear in landscape mode. If the figure legend is too lengthy to appear on the same page as the figure, then the legend, in its entirety, must appear on the next page.

Similar to tables, figures are usually constructed to be no more than what can appear on one page, but occasionally multi-paged figures are necessary. Figures may also appear singularly on pages or on pages containing narrative text.

All possibilities of grouping pictures side by side, on top or in matrices can be realized. Each subfigure is created in the same way as a graphic inside a figure, just enclosed by a figure environment, as shown in Figure 0.2.

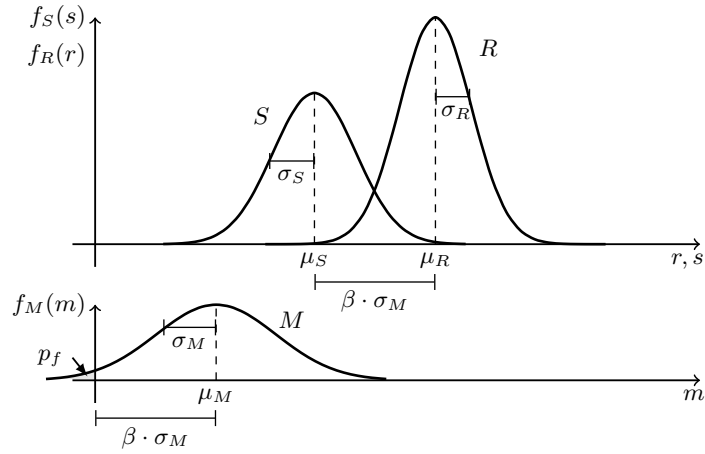


Abbildung 0.1: Safety Margin and Reliability Index. Are the random variables  $R$  and  $S$  normally distributed also the safety margin  $M$  is a normal random variable. In standardised domain the reliability index  $\beta$  provides the information how often  $\sigma_M$  has space between the origin and  $\mu_M$ .

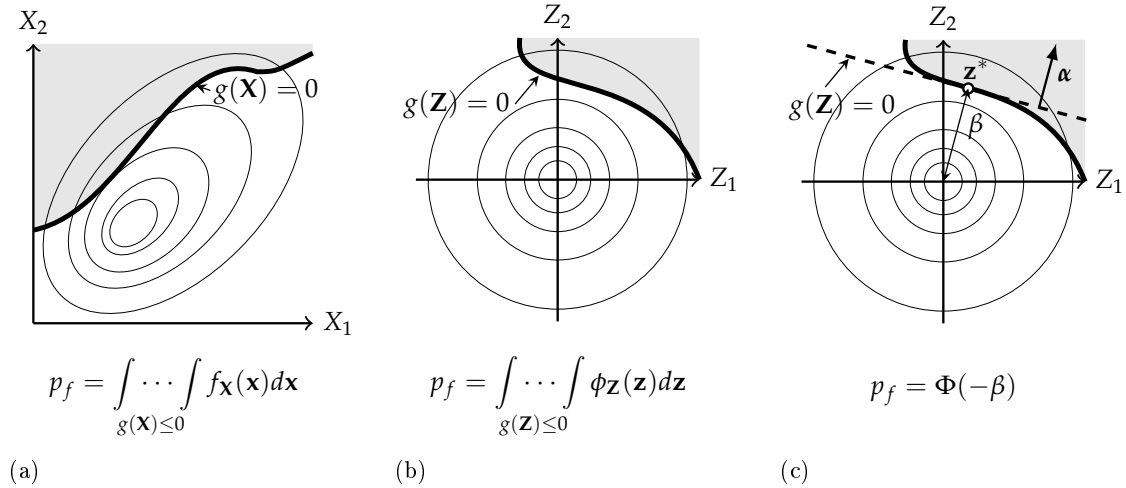


Abbildung 0.2: First Order Reliability Method. (a) Representation of a physical space with a set  $\mathbf{X}$  of any two random variables. The shaded area denotes the failure domain and  $g(\mathbf{X}) = 0$  the failure surface. (b) After transformation in the normalized space, the random variables  $\mathbf{Z}$  are now uncorrelated and standardized normally distributed, also the failure surface is transformed into  $g(\mathbf{X}) = 0$ . (c) FORM corresponds to a linearization of the failure surface  $g(\mathbf{X}) = 0$ . Performing this method, the design point  $\mathbf{z}^*$  and the reliability index  $\beta$  can be computed.

## Citations

Academic work almost always builds upon the work of others, and it is appropriate, indeed essential, that you discuss the related and previous work of others in your thesis. However,



this must be done according to the rules of acceptable use.

Much of the advice in the section on books will pertain to other sources as well. Their long history as a formal publication ensures, in particular, that the variations in author names and titles will serve as a model for constructing documentary notes and bibliography entries for many other types of sources.

The Chicago Manual of Style<sup>2</sup>, implemented here in its 16th edition, has long, been one of the most influential style guides for writers and publishers. While one's choices are now perhaps more extensive than ever, the Manual at least still provides a widely-recognized, and widely-utilized, standard.

A full reference must include enough information to enable an interested reader to locate the book. Most references contain at least some information not strictly needed for that purpose but potentially helpful nonetheless. The elements listed below are included, where applicable, in full documentary notes and bibliography entries.

The author appears as part of the narrative:

Nowak und Collins 2000, p.100 show how to calculate the reliability index  $\beta$ , by using geometric properties. And Chicago Press 2010 shwos us how to eat ass.

Otherwise, in parentheses:

A near linear relationship can be obtained between ultimate flexural and shear capacity of a RC section, if pitting corrosion occurs<sup>3</sup>.

vlg. Nowak und Collins 2000, 17 Das ist mit Seitenangabe und Vergleich

Nowak und Collins 2000 Das ist sogar sehr doof.

(Nowak und Collins 2000) Das ist ein Test.

---

2. Chicago Press 2010

3. Stewart 2009.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Acknowledgment</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>ix</b>
<b>Hilfestellung</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen und Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Problemlösungszyklus . . . . .	3
2.2 Zielfunktion . . . . .	3
2.3 Entscheidungsbaum . . . . .	3
2.4 Sensitivitätsanalyse . . . . .	3
2.5 Real option methodology . . . . .	3
<b>3 Vorgehen und Methodik</b>	<b>4</b>
<b>4 Fallstudie</b>	<b>5</b>
4.1 Situationsanalyse . . . . .	5
4.2 Formulierung der Ziele und Rahmenbedingungen . . . . .	5
4.2.1 Interessensgruppen . . . . .	6
4.2.2 Zielfunktion . . . . .	7
4.2.3 Kostenstruktur . . . . .	8
4.2.4 Unsichere Parameter . . . . .	17
4.3 Generierung möglicher Lösungen . . . . .	19
4.3.1 Variante: 1 . . . . .	19
4.3.2 Variante: 2 . . . . .	19
4.3.3 Variante: 3 . . . . .	19
4.4 Analyse der Lösungen . . . . .	20
4.5 Bewertung der Lösungen . . . . .	21
<b>5 Resultate</b>	<b>22</b>
<b>6 Diskussion</b>	<b>23</b>
<b>7 Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>24</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>25</b>

<b>Anhang</b>	<b>26</b>
A.1 Unfallrisiko Schätzung . . . . .	26

# Abbildungsverzeichnis

0.1	Safety Margin an Reliability Index . . . . .	xvi
0.2	First Order Reliability Method . . . . .	xvi
A.1	Unfallrisiko Schätzung . . . . .	26



# Tabellenverzeichnis

0.1	Mean-field predictions for the critical temperature of the Ising model . . . .	xv
4.1	Tabelle der Interessensgruppen und Kostenstrukturen . . . . .	8
4.2	Tabelle der Unfallrisiken . . . . .	17
4.3	Basis Informationen der Varianten . . . . .	21





# 1 Einleitung

Die von mir untersuchte Infrastruktur Interventionen beziehen sich auf die Nord-Süd Verbindung entlang der Pfäffikerstrasse, Brunnenstrasse und Bahnhofstrasse mit speziellem Augenmerk auf der geplanten Velo- und Fussgängerunterführung im Bereich der Gleisquerung Bahnhofstrasse/Brunnenstrasse.

Diese wichtige Route verbindet die südlichen Stadteile sowie das Zentrum ideal mit der Sportanlage Buchenhold sowie mit den Institutionen der Gesundheitsmeile auf dem Weg dahin. In der Gegenrichtung verbindet sie die nördlich der Bahngleise gelegenen Quartiere mit dem Zentrum. Dies ist somit eine der zentralen Achsen Usters und ihr ist im Rahmen der Stadtentwicklung besonderes Augenmerk zu schenken, insbesondere im Zuge der Zentrumsentwicklung und der Mobilitätsstrategie 2035.

In enbracht der Bestrebungen aus Uster ein urbanes Regionalzentrum zu machen, ist die Förderung des ökologischen und zukunftsorientierten Langsamverkehr essenziell, insbesondere die Veloförderung. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Mobilität wird das Fahrrad auch auf Strecken bis zu 30km eine entscheidende Rolle bei der Verkehrsmittelwahl spielen. Im Rahmen der Entwicklung des Bahnhofzentrum mit besonderem Augenmerk auf den Fahrbeziehungen der Buslinien, der geplanten Kapazität und Lage der Veloparkieranlagen und der Kapazitäten der Wintethurerstrasse sowie der geplanten Umfahrung Uster West wird die Infrastruktur auf der Nord-Süd Achse zum zentralen Element zur Förderung des Langsamverkehrs. Um diese zentrale Achse und auch das Stadtzentrum vom MIV Durchgangsverkehr zu entlasten ist der Ausbau der Uster Westumfahrung unumgänglich.

Das Ziel der von mir untersuchten Infrastruktur Investitionen ist es den Gesamtnutzen der Interessensverbände zu maximieren.

Dies mit speziellem Augenmerk auf der Vermehrung des Nutzens der Nutzer dieser Infrastruktur, d.h. der Langsamverkehr.

Die Nutzen die durch die Anwendung einer Infrastruktur Intervention entstehen sind hier definiert als die Verminderung der Kosten.

Die von mir verwendete Grundlage für die Erstellung dieser Auflistung der Steakholder sowie der Nutzen der jeweiligen Interessensverbände, basiert auf dem Dokument:

*Structure and Infrastructure Engineering: IM1-HS2019-HO-Adey-et-al-2012-f.pdf*

Ich möchte den Nutzen also die Reduktion der Kosten gemäss der Funktionen in diesem Dokument berechnen. Die Funktionen werden ich anhand der Angaben aus dem *STEK* im Rahmen der von mir definierten unsicheren Variablen modellieren.

Die von mir untersuchten Infrastruktur Investitionen werden sich hinsichtlich ihrer Kapazitäten unterscheiden. Einerseits möchte ich untersuchen welche Variante die optimale

## *1 Einleitung*

Vermehrung des Gesamtnutzens ermöglicht und andererseits welche die optimale Kapazität für eine geplante Lebensdauer von mind. 40 Jahren ist.

## **2 Grundlagen und Theorie**

In diesem Abschnitt wird die theoretische Grundlage erläutert, für das Erarbeiten meines methodischen Vorgehens, um die Problemstellung zu bearbeiten

### **2.1 Problemlösungszyklus**

### **2.2 Zielfunktion**

### **2.3 Entscheidungsbaum**

### **2.4 Sensitivitätsanalyse**

### **2.5 Real option methodology**

## 3 Vorgehen und Methodik

Hier wird beschrieben wie ich alles machen werden. Struktuiert anhand der Aufgabenstellung des Instituts.

## 4 Fallstudie

TEXT

### 4.1 Situationsanalyse

TEXT

#### **Unsicher Einflussfaktoren**

- Bevölkerungswachstum
- Gebaute Variante
- Bau von Uster West
- Bau der Moosackerstrasse
- Zentrumsentwicklung
- Entwicklung der Nachfragebeziehung auf der Route Bahnhof - Sportanlage

### 4.2 Formulierung der Ziele und Rahmenbedingungen

Die Leitziele «Uster macht Mobil »und « Velostadt Uster» die sich Uster im Rahmen der Stadtentwicklung gesetzt hat sind klare Signale, dass der Ausbau der Veloinfrastruktur für die Bevölkerung Usters ein zentrales Anliegen ist. Die Förderung des Langsamverkehrs und die Reduktion des MIV Anteils am Modal Split hat in Anbetracht der Zentrumsentwicklung höchste Priorität. Die Aufwertung des Zentrums in Anbetracht der gesetzeten Ziele aus Uster ein urbanes Regionalzentrum zu mache, wird zu einer gesteigerten Nachfrage auf der Quelle-Ziel-Beziehung zwischen Zentrum und dem umgebenden Stadtteilen führen.

Das Ziel der Infrastrukturintervention sollte demnach sein der gesteigerten Nachfrage nach Mobilität Rechnung zu tragen. Die Förderung des Langsamverkehrs soll dazu führen den Modal Split der Verkehrsbeziehungen im Raum Uster zu beeinflussen. So soll im Rahmen der Mobilitätsstrategie 2035 der Anteil an Veloverkehr um 3% steigen

Somit kann die geplante Veloroute eine Reduktion der Belastung der Öffentliche Hand, in Form der Reduktion der Schadstoffemission, erreichen. Die Schwierigkeit diese Kosten zu modellieren liegt in der nicht direkt messbaren Beziehung zwischen Schadstoffbelastung und daraus resultierenden Kosten. Jedoch ist zu vermerken das die Emissionen direkt von der Anzahl an motorisierten Fahrzeuge abhängt die auf der Infrastruktur verkehren.

### 4.2.1 Interessensgruppen

#### Besitzer

Die Interessensgruppe der Eigentümer setzt sich aus verschiedene Parteien zusammen. Die wichtigsten involvierten Parteien sind die Stadt Uster und der Kanton Zürich sowie die Eigentümerin der Sportanlage Buchholz. Sie werden durch die Bau-  
direktion der Stadt Uster vertreten. Für die Besitzerin der Infrastruktur wird in dem betrachteten Zeitraum nur die Initialisierungskosten sowie die laufenden Betriebskosten von Bedeutung sein. Um ein vollständiges Bild der Interessen der Besitzer zu erhalten, müssten weiter Kosten in Betracht gezogen werden. Für unsere Untersuchungen, welche die Infrastruktur in den nächsten 40 Jahren betrachtet, spielen die Unterhaltskosten die bedeutendste Rolle. Einerseits übersteigt die W'keit, dass diese Kosten bezahlt werden müssen, die W'keit dass andere Kostentypen eintreten und andererseits ist der absolute Betrag der Unterhaltskosten über einen Zeitraum von  $T$  Jahren deutlich grössers als der anderer Kostentypen. Aufgrund dieser Überlegungen brachten wir für die Besitzer nur die Unterhaltskosten.

#### Nutzer

Für die nachfolgende Optimierung ist es von zentraler Bedeutung die massgebenden Kostenstrukturen zu definieren. In anbetracht der Verkehrssituation, sind die folgenden Kostentypen diejenigen die für den Nutzer massgebenden sind. Der Nutzer der Infrastruktur ist der Langsamverkehr der gemäss STEK sämtliche Verkehrsmitteln einschliesst die aus eigener Kraft angetrieben werden. Es muss geprüft werden ob auch Sonderbewilligungen zur Nutzung der Infrastruktur für E-Bikes und Hybridräder erteilt werden kann. Dies sollte nur geschehen fals die geplante Kapazität der Infrastruktur das befahren mit deutlich unterschiedlichen Geschwindigkeiten erlaubt. Die Infrastruktur ist für jegliche Art von nichtmotorisiertem Verkehr ausgelegt. Dieser beinhaltet Fahrräder, Inlineskater, Skateboarder und auch Rollstuhlfahrer. Wichtig für die planung der Intervention ist die Unterteilung der Verkehrsteilnehmer anhand ihrer durchschnittlichen Geschwindigkeit.

#### Öffentliche Hand

Die in Tabelle 4.1 aufgeführten Kosten sind die massgebenden Einwirkungen auf die Allgemeinheit. Die Öffentliche Hand setzt sich aus direkt und indirekt betroffener Personen zusammen. Die Anwohner sowie in einem entfernten Sinne auch die Nutzer selbst, zählen zur direkt betroffenen Öffentlichkeit. Sie nutzen die Infrastruktur nicht direkt, befinden sich aber in ihrer unmittelbaren Nähe. Diese sind die Hauptträger der Kosten die durch Lärm- und Schadstoffbelastung entstehen. Eine Reduktion des MIV Anteil und die damit einhergehende verkehrsberuhigung sind die besten Mittel zur Reduktion dieser Kosten.

Die Unfallkosten gehen zulasten der Allgemeinheit in Form der Belastung des Gesundheitssystems. Die Allgemeinheit nutzt in diesem Sinne die Infrastruktur nicht und ist auch nicht in ihrer Nähe zuhause oder bei der Arbeit sondern wird durch die Benützung der Infrastruktur von ihr indirekt betroffen.

### 4.2.2 Zielfunktion

Das Ziel meiner Optimierung ist es den Gesamtnutzen zu steigern mit speziellem Augenmerk auf der Vermehrung des Nutzens der Fahrradfahrer.

Die geplanten Infrastruktur Interventionen sollen die Kapazität und somit das Angebot auf der Route Bahnhof - Sportanlage erhöhen.

Mithilfe der Optimierung und der anschliessenden Analyse soll diejenige Intervention bestimmt werden, die den totalen Nutzen über den betrachteten Zeitraum am meisten steigert.

Die Gleichung 4.1 stellt das Optimierungsproblem als mathematische Funktion dar. Die totalen Kosten  $TK$  einer Interventionsstrategie sind definiert als die netto Kosten aller Steakholder über einen untersuchten Zeitraum  $[0, T]$

Da in unserem Fall die Erlöse, während einer Zeitperiode  $[0, T]$  generiert werden können, nicht in Betracht gezogen werden, ist die Minimierung der Gesamtkosten äquivalent zur Maximierung des netto Nutzens aller beteiligter Interessensverände. Die Zeit 0 kennzeichnet den Startpunkt der Untersuchung wobei die Zeit  $T$  das Ende der Untersuchungsperiode ist.

$$Min. TK_i = Min. [K_U^i + K_{TT}^i + K_B^i + K_E^i + K_A^i] \quad (4.1)$$

wobei:

$TK_i$  = Totale Kosten der Variante  $i$  für den betrachteten Zeitraum von  $T$  Jahren

$K_U^i$  = Totale Unterhalts- und Baukosten der Variante  $i$

$K_{TT}^i$  = Totale Reisezeitkosten der Variante  $i$

$K_B^i$  = Totale Betriebskosten der Variante  $i$

$K_E^i$  = Totale Umweltbelastungskosten der Variante  $i$

$K_A^i$  = Totale Unfallkosten der Variante  $i$

Tabelle 4.1 listet die Interessensgruppen sowie die Kostenstrukturen auf. Die Kostenstrukturen in Form der Kostentypen und der modellierten Einheitskosten werden in den folgenden Kapitel erläutert .

Interessensgruppe	Kostentyp	Symbol	Einheitskosten	
Besitzer	Unterhaltskosten ( $U$ )	$K_U(t)$	5 - 30	$\frac{CHF}{m^2 \text{ Jahr}}$
Nutzer	Reisezeitkosten ( $TT$ )	$K_{TT}(t)$	35 - 56	$\frac{CHF}{Stunde \ DTV_k}$
	Betriebskosten ( $B$ )	$K_B(t)$	0.15 - 0.7	$\frac{CHF}{km \ DTV_k}$
Öffentliche Hand	Kosten durch Belastung der Umwelt (Environment) ( $E$ )	$K_E(t)$	0.05	$\frac{CHF}{Fahrzeugkilometer}$
	Unfallkosten ( $A$ )	$K_A(t)$	15'000 - 3.7mio	$\frac{CHF}{Unfall_n}$

Tabelle 4.1: Tabelle der Interessensgruppen und Kostenstrukturen

### 4.2.3 Kostenstruktur



In diesem Kapitel werden die Kosten, die für die verschiedenen Interessensverbände entstehen, erläutert und ihre Berechnung dargestellt.

Um das Risiko, welches von einer Infrastruktur Intervention ausgeht, berechnen zu können, muss die verwendete Kostenstruktur definiert werden. Im allgemeinen erfolgt die Approximation der Kosten durch die Bestimmung der relevanten Faktoren wie zum Beispiel der Länge und der Breite der Infrastruktur, des täglichen Verkehrsaufkommens, der benötigten Reisezeit sowie weiterer Faktoren. Die Ermittlung der Kosten erfolgt im Anschluss durch die Multiplikation dieser Faktoren mit den dazugehörigen Einheitskosten.<sup>1</sup>

Die von

### Unterhaltskosten

Die Berechnung der Unterhaltskosten  $K_U$  der Infrastruktur werden in Formel 4.2 dargestellt. Sie setzen sich zusammen aus den einmaligen Investitionskosten für den Bau der Infrastruktur  $K_{Bau}$  und den jährlich anfallenden Wartungskosten  $K_{Wartung,t}$  gemäss Formel 4.3. Die Baukosten und die Einheitskosten der Wartung werden nachfolgend erläutert.

$$K_U = K_{Bau} + \sum_{t=0}^T K_{Wartung,t} \quad (4.2)$$

$$K_{Wartung,t} = \sum_{k=1}^2 EK_{Wartung,k} \cdot s_k \cdot b_k \quad (4.3)$$

$$k = \begin{cases} 1 & \text{für } Strasse \\ 2 & \text{für } Unterfuhrung \end{cases}$$

wobei:

$K_U$	= Totale Unterhaltskosten für $T$ Jahre
$K_{Bau}$	= Baukosten der Variante
$K_{Wartung,t}$	= Wartungskosten pro Jahr
$EK_{Wartung,k}$	= Einheitskosten pro $m^2$
$s_k$	= Länge der Infrastruktur in $m$
$b_k$	= Breite der Infrastruktur in $m$
$k$	= Art der Infrastruktur

Die entstehenden Investitionskosten für den Bau der verschiedenen Infrastrukturen, habe ich nach KONTEXTPLAN AG 2010 folgendermassen angesetzt. Die Erstellung zweier neuer Radstreifen à 1.5 m Breite kostet 850 CHF pro Laufmeter. Die Investitionskosten pro

---

1. Adey u. a. 2012.

Quadratmeter für den Bau einer Velounterführung unter dem Lastfall Eisenbahn, betragen  $3750 CHF$ . Der Bau der Zufahrtsrampen zu den Velounterführungen kostet pro Rampe  $130'000 CHF$ . Die Wartungskosten der verschiedenen Infrastruktur Typen habe ich nach einem Gespräch mit Herr Dr. Martani wie folgt angesetzt. Für die Instandhaltung der Strasse, inklusive der Fahrradstreifen und der Fussgängerwege nehme ich an, dass jährlich  $5 \frac{CHF}{m^2}$  anfallen. Die wartungsintensivere Infrastruktur der Unterführung wird jährlich mit  $30 \frac{CHF}{m^2}$  instand gehalten.

### Reisezeitkosten

Die beim benutzen der Infrastruktur entstehenden Reisezeitkosten ( $TT$ ) (engl. Travel time cost), spiegeln die wirtschaftlichen Auswirkungen des Zeitverlustes auf den Verkehrsteilnehmer wieder und sind somit die Kosten der Reise in Form von Zeitverlust. In Anbetracht der Tatsache, dass in dieser verlorenen Zeit gearbeitet, sowie Freizeit verbracht hätte werden können, kann dieser Zeitverlust monetär beziffert werden. Dies erfolgt mit den nachfolgenden beschriebenen Einheitskosten des Zeitverlustes. Die Berechnung der totalen Reisezeitkosten  $K_{TT}$  für  $T$  Jahre erfolgt gemäss Formel 4.4 und ist eine Vereinfachung der Berechnung der *Travel time cost* vlg. Adey u. a. 2012, 643.

$$K_{TT} = \sum_{t=0}^T \left[ \sum_{j=1}^2 DTV_j \cdot t_j \cdot EK_{TT,j} \right] \quad (4.4)$$

$$t = \frac{s_k}{v_j} \left( 1 + 0.15 \left( \frac{DTV_j}{C_j} \right)^4 \right) \quad (4.5)$$

$$j = \begin{cases} 1 & \text{für } frMIV \\ 2 & \text{für } frVelo \end{cases}$$

wobei:

$K_{TT}$	= Totale Reisezeitkosten für $T$ Jahre
$DTV_j$	= Tägliches Verkehrsaufkommen nach Fahrzeugtyp
$t_j$	= Zeitverlust nach Fahrzeugtyp
$EK_{TT,j}$	= Einheitskosten der verlorenen Zeit
$v_j$	= Gefahrene Geschwindigkeit nach Fahrzeugtyp
$C_j$	= Kapazität der Infrastruktur nach Fahrzeugtyp
$j$	= Art des Fahrzeugs

Der Zeitverlust ist abhängig vom Zustand der Infrastruktur, genauer von der Beschaffenheit des Oberflächenbelags der Fahrbahn, sowie der momentanen Auslastung. Diese Beziehungen ist schwierig zu modellieren. Jedoch kann zwischen dem Zeitverlust auf der Infrastruktur, dem Auslastungsgrad, in Abhängigkeit von der gebauten Variante und der gefahrenen Geschwindigkeit eine Beziehung modelliert werden. Diese Approximation ermöglicht es mir, die verlorene Zeit, gemäss 4.5 zu berechnen. Die Zeit die man benötigt eine bestimmte Strecke zurück zu legen ist abhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit welche wiederum abhängig ist vom Zustand der Strasse sowie der Kapazität der Infrastruktur. Wird die Kapazität durch eine zu hohe Nachfrage überschritten, kann dies zu einer

Überlastung des Systems führen und somit zu Verstopfungen und daraus resultierenden Verspätungen.

Die Einheitskosten der verlorenen Zeit  $EK_{TT,j}$  werden anhand des schweizerischen Medianlohn von 2018 berechnet. Der Medianlohn betrug im Jahr 2018 6538 CHF pro Monat bei einer durchschnittlichen Arbeitszeit von 42,5 Stunden pro Woche (Quelle: BFS). Daraus ergibt sich einen durchschnittlichen Bruttostundenlohn von 38,5 CHF/h pro Person, was im Falle dieser Berechnung den Einheitskosten der verlorenen Reisezeit eines Velofahrers entspricht. Unter der Annahme eines durchschnittlichen Auslastungsgrad von 1.6 Personen pro Fahrzeuge Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumentwicklung 2017, betragen die Einheitskosten der verlorenen Reisezeit pro Fahrzeug 61,6 CHF/h.

### Betriebskosten

Die Betriebskosten  $K_B$  die für die Nutzer der Infrastruktur, für den betrachteten Zeitraum von  $T$  Jahren, anfallen, werden gemäss Formel 4.6 berechnet. So werden die Betriebskosten aus der Multiplikation der Anzahl Nutzer und der zurückgelegten Distanz mit den Einheitskosten pro Fahrzeugkilometer ermittelt. Diese sogenannten Fahrzeugbetriebskosten sind im Rahmen dieser Optimierung, als die jährlich pro Nutzer anfallenden Wartungskosten definiert und sind somit die Kosten, die für die Instandsetzung und den Betrieb eines Fahrzeugs, bei benützung der Infrastruktur, entstehen können. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten der Arbeitsstunden für die Instandsetzung sowie der Kosten für die Ersatz- und Verschleisssteile.

Diese Kosten sind abhängig von der Qualität des Fahrbahnbelags, von der Ausführung der Infrastruktur und von der Kapazität der Infrastruktur. Weiter ist ein entscheidender Faktor in der Bestimmung der Fahrzeugbetriebskosten die Strassengeometrie. Diese beinhaltet die Anzahl und Form der Kurven, die Steigungen sowie die Breite der Strasse und die daraus resultierende Möglichkeit des sicheren Überholens. Die Anzahl an Kreuzungsstellen und die davon abhängige Anzahl an Brems- und Beschleunigungsmanöver haben einen direkten Einfluss auf den Verschleiss der Mechanik des Fahrzeugs. So werden im Falle des Fahrrads die Kette und die Bremsbeläge durch vermehrtes Bremsen und Anfahren verstärkt abgenutzt und im Falle des Autos erhöhen sich die Betriebskosten bei vermehrtem *Stop-and-Go* Verkehr.

$$K_B = \sum_{t=0}^T \left[ \sum_{j=1}^2 EK_{B,j} \cdot s_k \cdot DTV_j \right] \quad (4.6)$$

wobei:

$K_B$  = Totale Fahrzeugbetriebskosten

$EK_{B,j}$  = Einheitskosten pro km

$s_j$  = Länge der Infrastruktur nach Fahrzeugtyp in km

## 4.2 Formulierung der Ziele und Rahmenbedingungen

Zur Vereinfachung der Berechnung, werden die entstehenden Betriebskosten anhand der nachfolgenden Referenzwerte ermittelt. Die Kosten der Arbeitsstunden sowie die Kosten der Materialien werden zusammengefasst als die Einheitskosten  $EK_B$  für den Fahrzeugbetrieb. Diese betragen pro Auto  $0.7CHF$  pro  $km$  und pro Velo  $0.15CHF$  pro  $km$  (Quelle: TCS).

### Kosten durch Belastung der Umwelt

Die Kosten die durch die Belastung der Umwelt  $K_E(t)$  (*Englisch*: Environment) entstehen, setzen sich auf den Kosten der Luftverschmutzung durch die Schadstoffbelastung  $K_S$  und der Kosten durch die Lärmbelastung  $K_L$  zusammen und werden gemäss Formel 4.7 berechnet.

Die Kosten durch die Schadstoffbelastung  $K_S$ , sind die Kosten die für die Allgemeinheit durch die Schäden aufgrund der Emissionen der motorisierten Fahrzeuge, entstehen können. Diese Schäden können neben gesundheitlichen Problemen für die Anwohner und Nutzer der Strasse auch die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums entlang der Infrastruktur, sowie die Reduktion des Wertes der Liegenschaft sein. Die Kosten durch die Lärmbelastung  $K_L$ , sind die Kosten die für die Allgemeinheit durch übermässigen Lärm, welcher von der Strasse verursacht wird, entstehen können. Die Kosten sind in diesem Falle die Störung und Beeinträchtigung der Anwohner in Form von Kopfschmerzen, Bluthochdruck, Schlafstörungen sowie psychischer Belastung.

Der Lärm entsteht mehrheitlich durch Motorengeräusche sowie der Abrollgeräusche der Reifen. Adey u. a. 2012

$$K_E(t) = \sum_{t=0}^T \left( K_{S,t} + K_{L,t} \right) \quad (4.7)$$

wobei:

$K_E$  = Totale Umweltkosten

$K_{S,t}$  = Kosten durch die Schadstoffbelastung pro Jahr

$K_{L,t}$  = Kosten durch die Lärmbelastung pro Jahr

Die Kosten durch die **Schadstoffbelastung** werden gemäss Formel 4.8 berechnet.

$$K_{S,t} = EK_S \cdot DTV_{MIV,t} \cdot s_i \left( 1 - \Phi_{E-Auto,t} \right) \quad (4.8)$$

wobei:

$EK_S$  = Einheitskosten der Schadstoffbelastung pro Fahrzeugkilometer

$DTV_{MIV,t}$  = Durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen im Jahr  $t$

$s_{MIV}$  = Zurückgelegte Distanz in  $[km]$

$\Phi_{E-Auto,t}$  = Marktanteil E-Autos am  $DTV_{MIV,t}$  im Jahr  $t$

Die Kosten durch die **Lärmbelastung** werden gemäss Formel 4.9 berechnet.

$$K_{L,t} = EK_L \cdot DTV_{MIV,t} \cdot s_i \quad (4.9)$$

wobei:

- $EK_L$  = Einheitskosten der Lärmbelastung pro Fahrzeugkilometer  
 $DTV_{MIV,t}$  = Durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen im Jahr  $t$   
 $s_{MIV}$  = Zurückgelegte Distanz in  $[km]$  pro Fahrzeug

Die Schadstoffbelastung ist eine Funktion der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit sowie der Häufigkeit des *Stopp and Go* - Verkehrs. So nimmt die Belastung der Luft durch Schadstoffe deutlich zu, wenn vermehrt im *Stopp and Go* - Verkehr gefahren wird. Da diese Beziehung schwierig zu modellieren ist, wird im Rahmen dieser Untersuchung die Einheitskosten der Schadstoffbelastung  $EK_S$  pro Fahrzeugkilometer gemäss Ecoplan, VSS 2007, p.38 mit  $0.0345 CHF/Fahrzeugkilometer$  angesetzt.

Die Einheitskosten der Lärmbelastung  $EK_L$  werden gemäss Bundesamt für Raumentwicklung 2004, p.127 mit  $0.0149 CHF/Fahrzeugkilometer$  angenähert.

### Unfallkosten

Die totalen Unfallkosten  $K_A$  welche von der Allgemeinheit für den betrachteten Zeitraum von  $T$  Jahren getragen werden müssen, werden gemäss Formel 4.10 berechnet.

Die Berechnung dieser Kosten basiert auf der Kostenberechnung in Adey u. a. 2012. In Betracht gezogen werden drei verschiedene Unfalltypen  $[a,b,c]$ . Unfälle mit entstandenen Sachschäden und leichtverletzten Personen werden in die Kategorie  $a$  eingeteilt. Für Unfälle mit schwerverletzten Beteiligten wird die Kategorie  $b$  definiert und für Unfälle mit Todesfolge die Kategorie  $c$ . Die Kategorien unterscheiden sich in der Häufigkeit des Unfalls pro Fahrzeug  $\gamma_{j,n}$  sowie der entstehenden Einheitskosten pro Unfall  $EK_{j,n}$ .

Die pro Unfall entstehenden Einheitskosten sowie die Unfallhäufigkeiten werden nachfolgend erläutert. Wichtig anzumerken ist, dass die ermittelten Unfallrisiken die Anzahl Unfälle eines Unfalltyps pro Personenkilometer darstellen. Das bedeutet, dass für die Berechnung der Personenkilometer der motorisierten Fahrzeuge, der Auslastungsgrad gemäss Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumentwicklung 2017 in Betracht gezogen werden muss. Somit wird in der Berechnung der Unfallkosten der  $DTV_{MIV}$  mit einem Faktor 1.6 multipliziert.

$$K_A = \sum_{t=0}^T \left[ \sum_{j=1}^2 \left( \sum_{n=a}^c EK_{j,n} \cdot \gamma_{j,n} \right) \cdot DTV_j \cdot s_j \right] \quad (4.10)$$

$$n = \begin{cases} a & \text{für Sachschäden und Leichtverletzte} \\ b & \text{für Schwerverletzte} \\ c & \text{für Todesfall} \end{cases}$$

$$j = \begin{cases} 1 & \text{für Velo} \\ 2 & \text{für Auto} \end{cases}$$

wobei:

$K_A$	= Totale Unfallkosten
$EK_{j,n}$	= Einheitskosten pro Unfall nach Fahrzeugtyp
$\gamma_{j,n}$	= Unfallwahrscheinlichkeit nach Fahrzeugtyp
$DTV_j$	= Tägliches Verkehrsaufkommen nach Fahrzeugtyp
$s_j$	= Länge der Infrastruktur nach Fahrzeugtyp in <i>km</i>
$n$	= Unfallart
$j$	= Art des Fahrzeugs

Die Anzahl Unfälle pro Personenkilometer und somit die Unfallwahrscheinlichkeit  $\gamma_{j,n}$  wird mithilfe der Risiken eines Unfall mit Todesfolge gemäss BFS und Bundesamt für Strassen ASTRA 2019a ermittelt. So betrug das Sterberisiko pro zurückgelegter Distanz von 2008 bis 2017 für einen Personenwagen; ein Todesfall pro 828 Mio. Personenkilometer (Quelle: BFS). Aus diesem Risiko ermittle ich die Unfallwahrscheinlichkeit eines Unfalls mit Todesfolge, was bedeutet, dass ich die Anzahl Unfälle mit Todesfolge pro einem Personenkilometer ermittle. Um die Berechnung zu vereinfachen habe ich die Personenwagen und die Motorräder unter der Bezeichnung MIV zusammengefasst. Um der höheren Unfallwahrscheinlichkeit der Motorradfahrer rechnung zu tragen, habe ich die Unfallwahrscheinlichkeit des MIV wie folgt ermittelt.

$$\gamma_{MIV,c} = Anteil_{Motorrad} \cdot \gamma_{Motorrad,c} + Anteil_{Auto,c} \cdot \gamma_{Auto,c}$$

Somit wurde der prozentuale Anteil an der Gesamtmenge an Strassenmotorfahrzeugen verwendet um das Unfallrisiko des MIV's zu berechnen. Die Anzahl Strassenmotorfahrzeuge in der Schweiz betrug 2019 6'160'262 Fahrzeuge.<sup>2</sup> Davon waren 744'542 Motorräder, was einem Anteil von 12.09% entspricht. Der Rest wird in dieser Betrachtung als Autos definiert.

Die Berechnung der Unfallrisiken der Unfalltypen *a* und *b* erfolgte mithilfe des prozentualen Anteile dieser Unfalltypen an der Gesamtanzahl an Unfällen im Jahr 2019. Die Unfallrisiken der Unfalltypen *a* und *b* wurden somit mithilfe dieser Anteile aus dem Unfallrisiko für die Unfälle des Typs *c* geschätzt. Die Anzahl Unfälle der verschiedenen Typen wird der Strassenverkehrsunfall-Statistik des Bundesamt für Strassen entnommen und die Werte beziehen sich auf das Jahr 2019. So waren 2019 0.334% aller Unfälle, Unfälle mit Todesfolge, 6.45% aller Unfälle waren Unfälle mit Schwerverletzten und 93.21% der Unfälle hatten Sachschaden und Leichtverletzte Personen zur Folge.<sup>3</sup> Die ausführliche Berechnung der Unfallrisiken ist im Anhang unter A.1 dargestellt. Die nachfolgenden Tabelle 4.2 listet die berechneten Unfallrisiken für die verschiedenen Fahrzeuge *j* und die verschiedenen Unfalltypen *n* auf.

---

2. BFS und Bundesamt für Strassen ASTRA 2019b, Vlg.

3. Bundesamt für Strassen ASTRA 2020.



Fahrezugtyp j	Unfalltyp a	Unfalltyp b	Unfalltyp c
MIV	$1.317 \cdot 10^{-6}$	$9.116 \cdot 10^{-8}$	$4.7243 \cdot 10^{-9}$
Velo	$3.818 \cdot 10^{-6}$	$2.643 \cdot 10^{-7}$	$1.37 \cdot 10^{-8}$

Tabelle 4.2: Tabelle der Unfallrisiken  $\gamma_{j,n} \left[ \frac{Unfälle_{j,n}}{Pkm_k} \right]$ 

Nach der ausführlichen Betrachtung verschiedenster Literatur zum Thema: *Kosten die durch Strassenverkehrsunfälle entstehen* und einem Gespräch mit Herr Dr. Martani habe ich für die Berechnung der Unfallkosten im Rahmen dieser Untersuchung die folgenden Einheitskosten der verschiedenen Unfalltypen festgelegt.

**Kategorie a** Die Einheitskosten pro Unfall der Kategorie *a* setzen sich aus den entstandenen Sachschäden und den Arbeits- und Materialkosten der Reperatur der Fahrzeuge zusammen. Unter der Annahme, dass das durchschnittliche Alter eines Personenenwagens in der Schweiz 8.5 Jahre beträgt und somit schon einen deutlichen Wertverlust erlitten hat, werden die entstehenden Einheitskosten der Kategorie *a* mit  $15'000CHF/Unfall$  angesetzt. Die Kosten für die Behandlung leichtverletzter Personen wird in dieser Betrachtung aufgrund ihrer geringen grösse vernachlässigt.

**Kategorie b** Die Einheitskosten die aufgrund der Unfälle der Kategorie *b* entstehen, werden durch die anfallenden Behandlungskosten der verunfallten Person dominiert. Die entstehenden Kosten durch den Erwerbsausfall für die Dauer der Arbeitsunfähigkeit sowie die Kosten der entstandenen Sachschäden werden in dieser Berechnung aufgrund ihrer im Vergleich zu den Behandlungskosten geringen Grösse, vernachlässigt. Die durchschnittliche Kosten die durch eine schwerverletzte Person entstehen, werden mit  $110'000CHF/Unfall$  angesetzt. Dies entspricht 3% der Kosten einer tödlich verunfallten Person.

**Kategorie c** Und zuletzt die Einheitskosten für die Folgen eines Unfalls der Kategorie *c*. Diese Kosten, für einen Unfall mit Todesfolge, basieren auf der Schätzung des Werts eines statistischen Lebens. Hierfür werden  $3.7mioCHF/Unfall$  angesetzt (Quelle: ASTRA).

#### 4.2.4 Unsichere Parameter

Die Unsicherheiten der Kostenstrukturen definieren die unsichren Parameter... diese müssen geschätzt werden :)

Die Länge der Infrastruktur sowie der gewählte Ausbaustandart sind in diesem Fall unsichere Variablen, die von der gebauten Variante abhängig sind. Desweiteren ist für die Abschätzung der jährlich anfallenden Unterhaltskosten die Anzahl an Nutzer zu bestimmen. Dies ist von Nöten, um Aussagen betreffend der Geschwindigkeit der Abnutzung der Fahrbahn machen zu können. Die Bestimmung der Anzahl Nutzer ist Anhand von Schätzungen, basierend auf Messungen an vergleichbaren Infrastrukturprojekten, möglich jedoch nur mit einer gewissen Unsicherheit. Somit sind die Anzahl Nutzer sowie die gewählte Ausbauvariante die unsicheren Rahmenbedingungen die die Unterhaltskosten in Zukunft bestimmen. Die zukünftige Anzahl Nutzer dieser Infrastruktur ist desweiteren abhängig vom Bevölkerungswachstum und der Entwicklung von Uster bis 2035 gemäss dem STEK Schlussbericht. Die zu erwartende Bevölkerungsentwicklung kann der Abbildung 63 im STEK Schlussbericht Kapitel 10.3 *Bevölkerungswachstum* entnommen werden.

Die Kapazitätsüberschreitung ist direkt abhängig von der Nachfragebeziehung auf der untersuchten Route. Diese Nachfrage ist wiederum abhängig von der Entwicklung der restlichen Infrastruktur in Uster sowie dem Bevölkerungswachstum. Somit sind in diesem Falle die unsicheren Rahmenbedingungen die es für die Zukunft zu modellieren gilt, die Anzahl Verkehrsteilnehmer die auf der geplanten Veloroute zukünftig pro Tag, fahren werden, sowie der Ausbaustandart der Infrastruktur in Form des Querschnittsprofil der Strasse. Die Anzahl an Nutzer pro Jahr sowie die verlorene Zeit pro Nutzer und Jahr sind die unsicheren Variablen die es für die Berechnung dieser Kosten zu modellieren gilt. Sie sind abhängig von der Entwicklung der restlichen Infrastruktur in und um Uster.

Die Anzahl an Nutzer ist eine unsichere Variabel der Zukunft, welche abhängig ist von der Entwicklung der restlichen Infrastruktur in und um Uster. Die Totale Anzahl an Fahrzeugen pro Jahr  $t$  ist die unsichere Rahmenbedingung die es, in Abhängigkeit der verschiedenen Szenarien zu modellieren gilt.

Somit ist die Anzahl an Fahrzeugen die täglich auf der Strasse fahren die unsichere Variable die es für die zukünftige Entwicklung zu modellieren gilt. Diese ist Abhängig vom Bevölkerungswachstum, der Entwicklung der Nachfragebeziehung auf der Route Bahnhof - Sportanlage, der Entwicklung des Stadtzentrums und dem Bau der Uster Westumfahrung sowie dem Bau der Moosackerstrasse. Ein weiterer Faktor den es zu erwähnen gilt, ist die Entwicklung der durchschnittlichen Fahrzeugemissionswerte. Es muss berücksichtigt werden, welcher Trend sich hinsichtlich der Emissionswerte abzeichnet um dies in die Berechnung mit einzubeziehen.

Hier ist zu Vermerken, dass die Anzahl Unfälle pro Jahr mit einer Unsicherheit behaftet sind. Diese resultiert aus der Ungewissheit, um wie viel die Nachfrage auf der Route steigen wird und ab welchem Zeitpunkt die Infrastruktur an ihre Grenzen stossen wird.

So ist in diesem Fall die Anzahl Unfälle pro Jahr abhängig von der Anzahl Nutzer pro Jahr. Die Anzahl Nutzer wiederum ist abhängig von der Verkehrstechnischen Entwicklung Usters sowie vom prognostizierten Bevölkerungswachstum.

Für die Unfallkosten sind somit die Anzahl Unfälle und demnach die Anzahl Nutzer die unsicheren Randbedingungen die im Falle einer Optimierung modelliert werden müssten.

## 4.3 Generierung möglicher Lösungen

Die Varianten beziehen sich auf das Kapitel 7.2.1 *Die Velostadt verbessern*. Es wurde im STEK bereits definiert welche Routen Hauptverbindungen darstellen und daher besondere Aufmerksamkeit, im Rahmen der Entwicklung Usters zu einer Velostadt verdienen. Die Abbildung 45 *Räumliche Umsetzung der Strategie "die Velostadt verbessern"* im STEK Kap. 7 zeigt die Haupt- und Nebenrouten für den Veloverkehr im Raum Uster. Auf dieser Abbildung wird die zentrale Bedeutung der Route Bahnhof - Sportanlage als wichtige Nord-Süd Achse verdeutlicht. Die hier ausgearbeiteten Varianten bestimmen die Rahmenbedingungen die für die Berechnung der Kosten der Optimierung vonnöten sind. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Ausgestaltung der Fahrbahn kann der Tabelle 1 im STEK Schlussbericht Kapitel 7.2 *Uster fördert den Fuss- und Veloverkehr* entnommen werden. Die Tabelle 1 im STEK Schlussbericht Kapitel 7 basiert auf den kantonalen Vorgaben.

Die Kapazität für den ÖV ist in keiner Variante beeinträchtigt. Einen Ausbau der Kapazität ist nicht geplant. Neubauten oder umstrukturierungen verschiedener Bushaltestellen ist im Rahmen der genaueren Bauausführung zu prüfen.

Der Bau der Westerschliessung ist im Rahmen der Entwicklung Usters zur Velostadt unerlässlich und ist zentral für die geplante umstrukturierung entlang der Route Bahnhof - Sportanlage.

### 4.3.1 Variante: 1

Diese Variante beinhaltet den Bau der geplanten Velo- und Fussgängerunterführung im Bereich der Gleisquerung bei der Bahnhof-/ Brunnenstrasse. Weitere Investitionen sind in diesem Rahmen nicht geplant. Die Ausführung der Velounterführung ist in verschiedenen Kapazitätsgrössen zu untersuchen. Es soll in Betracht gezogen werden, dass die Velounterführung als Flaschenhals in der Nord-Süd Achse fungiert und es ist somit zu untersuchen welche Querschnittskapazitäten für welche Nachfragebeziehungen vonnöten sind um Verstopfungen aufgrund von Überbelastungen zu vermeiden. Die Bestimmung der optimalen Kapazität ist abhängig von der zukünftigen Verkehrsmenge und dadurch mit einer Unsicherheit behaftet die es zu modellieren gilt.

### 4.3.2 Variante: 2

Die zweite von mir untersuchte Variante beinhaltet neben der Velounterführung einen Ausbau der Infrastruktur auf der Brunnenstrasse und der Pfäffikerstrasse bis zur Sportanlage Buchenholz. Dies ist im Rahmen der gängigen Ausbaustandarts für Velowege als Hauptrouten gemäss STEK Kap.7 Tab.1 auszuführen.

### 4.3.3 Variante: 3

Die dritte Variante ist eine geplante Veloschnellroute. Diese zeichnet sich durch separate und baulich von der restlichen Fahrbahn getrennte Radwege aus. Dies ermöglicht gemäss STEK eine komfortable, durchgehende und direkte Verbindung mit allenfalls zu prüfender

Vortrittsberechtigung. Die Infrastruktur dieser Radwege sollte ausschliesslich für diese Art von Verkehr zugelassen sein und gemäss STEK Kap.7 Tab. 1 mind. 4.8m breit sein. Um eine kreuzungsfreie Durchfahrt zu gewährleisten ist eine Ausführung in Anlehnung an den Aufbau einer Autobahn zu prüfen. Das Ziel dieser Infrastruktur ist es grössere Distanzen in kurzer Zeit und mit hoher Geschwindigkeit unmotorisiert zurück legen zu können. Dies setzt eine kreuzungsfreie Ausführung voraus was mit baulichen Massnahmen oder Vortrittsberechtigungen erreicht werden kann. Die dritte Variante ist an ein Beispiel aus dem Ausland angelehnt. Die Infrastrukturintervention wäre ein Ausbau der Nord-Süd Achse entlang der Pfäffikerstrasse, Brunnen- und Bahnhofstrasse zu einer Veloschnellstrasse. Das Vorbild dieser Infrastruktur ist die C99, Kopenhagen-Albertslund eine sogenannten *Super-Radschnellroute* auch bekannt als *Cykelsuperstier*. Diese Art von Veloinfrastruktur hat sich bereits in Dänemark bewehrt um das Pendeln leichter und sicherer zu machen. In Anbetracht der enormen Kapazitätssteigerung wäre ein Ausbau der Parkplätze auf der Sportanlage Buchenholz zu prüfen. Dies wäre im Rahmen eines Programmes gedacht das sich *Ride and Bike* nennen könnte, welches zum Ziel hat die Kombination von Autobahnanschluss und Parkiermöglichkeit mit einer bequemen, sicheren und schnellen Veloverbindung ins Stadtzentrum zu fördern.

Der geplanten Stadterschliessungen West und Süd-Ost sind für die Förderung des Langsamverkehrs in der Stadt Uster von zentraler Bedeutung. So kann eine Entlastung des Zentrums und der Nord-Süd Achse entlang der Bahnhofstrasse nur realisiert werden wenn der MIV entlang der Westumfahrung um das Stadtzentrum herum geführt wird.

In Tabelle 4.3 werden die Eigenschaften der Varianten dargestellt.

## 4.4 Analyse der Lösungen

TEXT

### Modellierung der ungewissen Parameter

Die Szenarien dienen dazu die unsicherheiten der Kostenstrukturen zu modellieren. Der durchschnittliche tägliche MIV  $DTV_{MIV}$  das durchschnittliche tägliche Aufkommen an Fahrradfahrern  $DTV_{Velo}$  sind abhängig von der Bevölkerungsmenge Usters. Das Bevölkerungswachstum in Uster wird gemäss STEK in drei verschiedenen Szenarien prognostiziert:

#### Starkes Wachstum

Die Bevölkerung wächst jährlich um ... Einwohner

#### Mittleres Wachstum

Die Bevölkerung wächst jährlich um ... Einwohner.

Dieses Szenario hat mit ... die höchste Eintretenswahrscheinlichkeit.

#### Geringes Wachstum

Bevölkerung wächst jährlich um ... Einwohner

Eigenschaften	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Länge Fahrbahn ( $m$ )	80	80	80
Länge Unterführung ( $m$ )	-	55	65
Anzahl Spuren			
• Veloweg:	2	2	4
• Strasse:	2	2	1
Breite der Spur ( $m$ )			
• Veloweg:	1.5	1.5	2
• Strasse:	3.5	3	5
Tempolimit ( $\frac{km}{h}$ )	50	30	30
Ø Geschwindigkeit ( $\frac{km}{h}$ )			
• Velo	15	15	20
• MIV	37	30	30
Kapazität ( $\frac{Fahrzeug}{h}$ )			
• Velo	3350	3767	4600
• MIV	2500	2500	1250

Tabelle 4.3: Basis Informationen der Varianten

## Berechnung der Risiken

In diesem Abschnitt wird die Berechnung der Risiken erläutert.

## 4.5 Bewertung der Lösungen

TEXT

### Sensitivitätsanalyse

Dieser Abschnitt beschreibt die drei durchgeführten Sensitivitätsanalyse.

## 5 Resultate

Hier werden die Resultate dargestellt. Ohne Wertung.

## 6 Diskussion

Hier werden die Resultate diskutiert.

## 7 Schlussfolgerung und Ausblick

Hier wird die Schlussfolgerung aus der Diskussion der Resultate gezogen.



# Literaturverzeichnis

- Adey, B. T., T. Herrmann, K. Tsafatinos, J. Lüking, N. Schindele und R. Hajdin. 2012. „Methodology and base cost models to determine the total benefits of preservation interventions on road sections in Switzerland“. *Structure and Infrastructure Engineering* 8 (7): 639–654. doi:10.1080/15732479.2010.491119. eprint: <https://doi.org/10.1080/15732479.2010.491119>. <https://doi.org/10.1080/15732479.2010.491119>.
- BFS und Bundesamt für Strassen ASTRA. 2019a. *Risikovergleich ausgewählter Landverkehrsmittel, 2008-2017*. Technischer Bericht.
- . 2019b. *Strassenfahrzeugbestand (MFZ)*. Technischer Bericht.
- Bundesamt für Raumentwicklung. 2004. „Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000, Bern“.
- Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumentwicklung. 2017. „Verkehrsverhalten der Bevölkerung“. *Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015*.
- Bundesamt für Strassen ASTRA. 2020. *Strassenverkehrsfall-Statistik 2010 - 2019*. Technischer Bericht.
- Chicago Press, University of. 2010. *The Chicago Manual of Style*. Chicago Manual of Style. University of Chicago Press. ISBN: 9780226104201.
- Ecoplan, VSS. 2007. „Externe Kosten im Strassenverkehr“. *Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse*. <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/vss-ek/2005-204.pdf>.
- KONTEXTPLAN AG, Chrisina Farner, Markus Hofstetter. 2010. *Baukosten der häufigsten Langsamverkehrsinfrastrukturen*. Hrsg. Bundesamt für Strassen (ASTRA).
- Nowak, Andrzej S., und Kevin R. Collins. 2000. *Reliability of Structures*. First edition. McGraw-Hill civil engineering series. Boston: McGraw-Hill Higher Education. ISBN: 9780070481633.
- Stewart, Mark G. 2009. „Mechanical behaviour of pitting corrosion of flexural and shear reinforcement and its effect on structural reliability of corroding RC beams“. *Structural Safety* 31 (1): 19–30. ISSN: 0167-4730. doi:10.1016/j.strusafe.2007.12.001.

## A.1 Unfallrisiko Schätzung

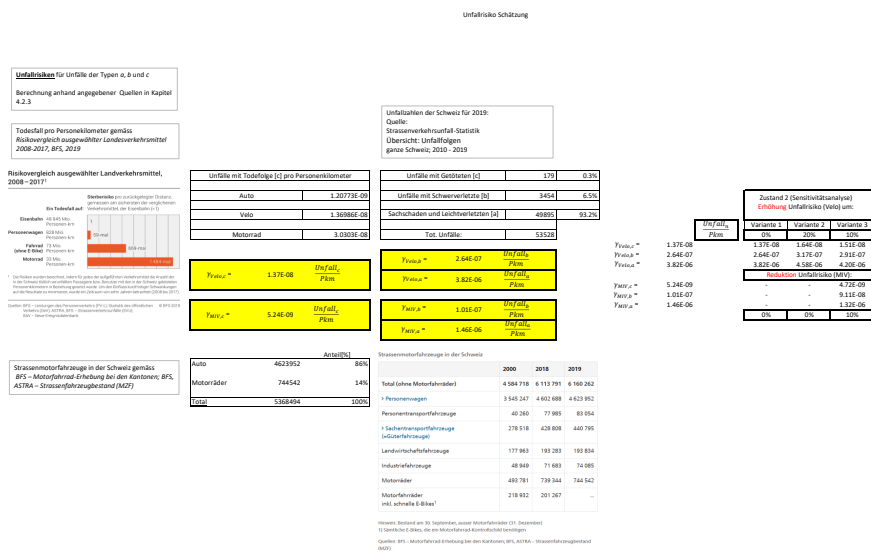


Abbildung A.1: Berechnung des Unfallrisiko